

中国沿海集装箱港口航运网络空间联系及区域差异

郭建科,何 瑶,侯雅洁

(教育部人文社科重点研究基地,辽宁师范大学海洋与经济可持续发展中心,辽宁 大连 116029)

摘 要:沿海港口是“一带一路”海陆双向通道的交汇点,航运网络则是港口融入海上丝绸之路的载体,其空间联系及一体化水平是港口整体竞争力的重要指标。利用复杂网络模型对2005年与2015年航运网络联系进行定量刻画和空间分析,探讨近10年来中国集装箱港口航运网络的空间联系和区域差异,结果表明:①中国集装箱港口航运网络具有较高的集聚系数与较小的平均路径长度,整体服从小世界模型。各港口间的网络可达性与中转衔接功能差异性较小,各地的区域性枢纽港较为稳定。②基于社会网络分析(UCINET)呈现的最强联系航运网络看,三个相对独立的区域性网络演变为全国性的轴—辐空间网络,航运网络的一体化程度显著提升。③从区域差异来看,四大区域港口间的联系强度增强,台湾地区各港口的最强联系区域由珠三角变为长三角,其网络可达性及中转衔接功能有所提升,并形成以高雄港为区域性枢纽的区域性网络。整个台湾地区港口与大陆其他区域的联系强度上升79.46%,而香港港虽保持了与深圳港的最强联系,但与大陆港口的整体联系强度却下降了22.99%,从全国性枢纽港弱化为珠三角区域性枢纽港。

关键词:中国沿海集装箱港口;复杂网络;轴—辐结构;加权网络;区域差异

1 引言

集装箱运输实现了海洋杂货运输的标准化、系统化、网络化与信息化,这些技术创新直接导致了时间与空间的压缩(韩增林等,2001)。随着港口区域化及集装箱物流网络的发展,集装箱航运网络空间联系状况及其运行效率越来越成为区域港口体系参与全球竞争的关键。在西方,对于国外集装箱港口体系演化的研究源自Mayer(1978)对枢纽港和支线港分化及其原因的关 注;Hayuth(1988)则从海向组织的角度出发,提出了五阶段的集装箱港口体系演化模式,并采用基尼系数证明存在港口崛起的第五阶段;Notteboom(1997)采用赫芬达尔—赫希曼指数和偏移—分享模型证明欧洲集装箱港口体系逐渐走向分散化;杨静蕾等(2012)运用HHI指数得

出美国集装箱港口体系经历了快速分散—缓慢分散—缓慢集中—再次分散的周期性过程。早期的港口系统演化地理学方法主要从空间的角度进行分析(Taaffe et al, 1963; Rimmer, 1967; Hoyle, 1968; Hayuth, 1981; Barke, 1986; Van Klink, 1998)。随着港口地理学发展,学者将分析转向通过腹地可达性(Notteboom, 2005; Monios, 2013)、海运服务结构(Notteboom et al, 2005; Monios, 2013)及班轮服务集中化影响(Frémont, 2007; Lee et al, 2008; Wang, 2012),以解决港口竞争问题。同时Monios等(2016)认为当代港口体系演进的研究理论和方法经历了由空间研究向网络分析和制度讨论的明显转向。

国内相关研究始于1990年。曹有挥率先介绍了Hayuth模型并在此基础上提出了集装箱港口的发展模式(曹有挥, 1999),还利用HHI指标分析了中

收稿日期:2018-03-26;修订日期:2018-07-04。

基金项目:国家自然科学基金项目(41571126,41571122);教育部人文社科基地重大项目(18JJD79005) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.41571126, No.41571122; Social Science Humanity Foundation of Education Ministry, No.18JJD79005]。

作者简介:郭建科(1980-),男,山西长治人,博士,副教授,博士生导师,主要从事交通物流与港口空间组织、海洋经济地理研究,E-mail: gjianke98@126.com。

引用格式:郭建科,何瑶,侯雅洁. 2018. 中国沿海集装箱港口航运网络空间联系及区域差异[J]. 地理科学进展, 37(11): 1499-1509. [Guo J K, He Y, Hou Y J. 2018. Spatial connection and regional difference of the coastal container port shipping network of China[J]. Progress in Geography, 37(11): 1499-1509.]. DOI: 10.18306/dlkxjz.2018.11.006

国沿海集装箱港口体系集中化趋势(曹有挥, 2004); 谢燮等(2010)采用基尼系数和HI指数从全国港口及沿海三大港口群等区域尺度分析了港口空间格局及集中度的演变; Le等(2010)运用地理集中度指标, 比较中日韩三国集装箱港口体系集中度变化趋势, 得出日本和韩国港口体系逐步分散、中国港口体系逐步集中的变化规律。总体来看, 在研究港口体系中, 学者们多利用基尼系数和赫芬达尔指数等传统方法, 新方法运用和新视角分析甚少; 此外, 集装箱航运网络的相关理论解析和案例研究尚未引起足够重视。

港口间航运联系越来越建立在“流”、连接、网络和节点基础上, 复杂网络以复杂系统实体及实体间的相互作用或关联构建网络, 利用统计物理学分析网络结构及其动力学特征(莫辉辉等, 2008)。如潘竞虎等(2017)等利用网络分析进行了城市影响区和城市群空间范围识别; Deng等(2009)与Kaluza等(2010)构建全球和区域集装箱航运网络, 运用复杂网络基本特征衡量其“建全球和区域集装箱航运网络”; Ducruet等(2012)利用复杂网络的特征指标刻画了全球集装箱港口体系发展演化过程。中国交通地理学者对航运网络的研究始于2006年, 王成金等(2006)分析了集装箱的轴—辐空间组织模式; 范斐等(2015)刻画了全球海运网络的空间结构复杂性并解析局域地理环境对其复杂性发育的影响机制; 王列辉等(2016)探讨了直航背景下海峡两岸集装箱港口体系空间联系格局、中心性空间分异和区域集散效应; Guo等(2017)等系统分析了中日韩港口集装箱航线网络的空间结构、区域分异和网络脆弱性; 焦敬娟等(2014)分析了海航航空网络的空间结构及其演化特征; 任义科等(2017)利用复杂网络, 从属性和网络双重视角下研究了农民工流动的规律。张兰霞(2016)等通过运用复杂网络理论构建中国高速铁路地理网、车流网及服务网3个模型网络, 分析了我国高速铁路网的拓扑特性。

总体看, 中国学者运用网络复杂性对航空、高铁网络及其揭示的城市空间联系进行了较深入的研究, 但关于集装箱航运复杂网络的特征指标分析仍处于起步阶段。从整个港口地理学视角看, 中国港口发展作为近30年来世界港口体系变迁的主导因素之一和最活跃的组成部分, 两者的相互作用是学者们关注的热点问题, 但中国港口发展理论研究与其实践相比仍较为滞后。1985年中我国大陆尚

无港口进入世界集装箱港口的前10, 到2005年上海港与深圳港已跻身于世界前5, 至2015年世界集装箱港口排名前10中有6个为中国大陆港口, 中国已成为世界集装箱港口强国。从中国港口体系发展看, 其内部结构正在经历深度调整, 而航运网络的联系状况和整合能力决定着港口区域化水平及其物流竞争力, 并将随着“一带一路”国际网络的发展对全球航运网络产生重要影响。而现有研究多关注国际航运整体网络的一般特征, 对于中国等热点地区的港口区域化及其内部核心变量的解析不够深入。目前关于港口体系网络联系研究缺乏对中心性的测度, 而以港口航线作为界定的标准, 同时对台湾地区与香港港口的研究甚少, 基于此, 本文以集装箱班轮航线数据为基础, 建立加权的航运复杂网络模型, 对包括台湾地区与香港在内的中国航运网络联系进行综合测度, 识别其物流空间组织模式, 探讨近10年来中国沿海港口航运网络的区域联系和空间差异, 为进一步整合港口网络, 提升中国沿海港口体系整体竞争力提供参考。

2 研究方法与数据来源

本文基于港口之间是否有航线连接建立港口无向无权网络, 通过MATLAB软件平台进行复杂网络基本指标计算; 再以港口之间航线的数量为权重建立港口无向加权网络, 通过MATLAB与UCINET软件平台进行各中心性指标计算分析。

2.1 复杂网络基本指标

(1) 度及度分布: 无权网络节点的度 k_i 反映了该节点与网络中其他节点直接联系的可能性。加权网络中节点的强度用 S_i 来表示, 表明节点之间相互作用的强度, 也可称为加权重。网络所有节点的度平均值称为网络的平均度。网络中节点的度分布情况用概率分布函数 $p(k_i)$ 和累计概率分布函数 $P(k_i)$ 表示。度分布表明网络的宏观统计特征。

$$S_i = \sum_{j \in N_i} w_{ij} \quad (1)$$

$$P(k_i) = \sum_{i=k}^{\infty} p(k_i) \quad (2)$$

式中, N_i 指节点 i 的邻点集合; N 指网络中所有的节点, k_i 是指节点 i 衔接边的数目, w_{ij} 指港口节点 i 和 j 间的航线数量。

(2) 平均路径长度: 在无权网络中最短路径长度 d_{ij} 表示无权网络中任意两个节点之间最短路径

的边数。网络的平均路径长度 L 定义为任意两个节点之间的距离的平均值,表明网络整体可达性强弱。

$$L = \frac{1}{1/2n(n-1)} \sum_{i>j} d_{ij} \quad (3)$$

式中, n 为节点总数。

(3) 网络集聚系数 C :定义节点集聚系数 C_i 为一个节点与其所有邻接点之间连边的数目与可能的最大连接边的数目的比值,是反映网络节点集聚情况的参数;网络的集聚系数 C 则定义为所有节点聚类系数的平均值。

$$C = \frac{1}{n} \sum_{N_i \in N} C_i \quad (4)$$

2.2 节点中心性指标

(1) 加权重度中心性(WDC_i),可以直观反映该节点与网络中其他节点发生直接联系的可能性大小。 α 为赋值参数,本文采用0.5。

$$WDC_i = k_i^\alpha \times \left(\frac{S_i}{k_i} \right)^{(1-\alpha)} \quad (5)$$

(2) 加权介数中心性(WBC_i),用所有节点对间的加权最短路径经过给定节点的次数和来衡量,反映节点在网络中的中转和衔接功能,节点介数中心性越大,港口的枢纽性越强。

$$WBC_i = \frac{\sum_{k \neq i \neq j} \frac{n_{kj}(i)}{n_{kj}}}{\sum_{i=1}^n \sum_{k \neq i \neq j} \frac{n_{kj}(i)}{n_{kj}}} \quad (6)$$

式中, n_{kj} 指节点 k 与节点 j 之间所有加权最短路径的条数; $n_{kj}(i)$ 为节点 i 为节点 k 与节点 j 之间最短路径经过节点 i 的条数。

(3) 加权邻近中心性(WCC_i),节点 i 到网络中其他节点的平均加权最短路径长度的倒数,反映该节点在网络中的相对可达性大小。 d_{ij}^w 为节点 i 和节点 j 之间的加权最短路径长度。

$$WCC_i = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{j=1, j \neq i}^n d_{ij}^w \right]^{-1} \quad (7)$$

$$d_{ij}^w = \min \left\{ \frac{1}{w_{ih}} + \dots + \frac{1}{w_{hj}} \right\} \quad (8)$$

2.3 数据来源及研究范围

本文主要数据源自《中国港口统计年鉴》(1986-2016年)及主要班轮公司船期表(2005年与2015年)。相关区域及港口群划分遵从《全国沿海港口布局规划》(2006)的相关规定。中国沿海集装箱港口的样本参照以往学者做法,主要包括三部分。①中国大陆沿海规模以上港口。②台湾地区主要港

口、香港港;③长江干线上南京以下主要港口,包括南京、苏州、常州、镇江、泰州、扬州、无锡。澳门港受自身限制集装箱运输未达成规模,所以不在研究范围内。四大区域指环渤海地区、长三角地区、珠三角地区(包括香港港)与台湾地区。

3 中国集装箱港口网络联系分析

3.1 航运网络联系的整体特征

3.1.1 航运网络具有明显的“小世界”网络特征

根据复杂网络测算,2005-2015年间,中国大陆沿海保持稳定集装箱航线的港口从38个增加到47个(图1)。集装箱航运网络的平均路径长度从2005年的1.6785上升至2015年的1.7243,港口航线的整体转折率明显上升。网络集聚系数从2005年的0.7383降至2015年的0.7082,港口航线的集聚程度略微下降。根据相关研究,将此与2015年中日韩港口航运网络(平均路径长度2.769,集聚系数0.33)(Guo, 2017)和中国2008年航空网络(平均路径长度2.229,集聚系数0.694)(莫辉辉, 2012)相比较,发现中国港口网络具有较小的平均路径长度与较大的聚类系数,表现出明显的“小世界”网络特征。

3.1.2 新兴港口大量增加,港口平均度值提高,不同港口的网络联系范围差异扩大

①近10年来,中国沿海有9个地方新兴港口加入集装箱运输体系,增幅达23.68%。通常由于新兴港口数量多、开通航线少,极易拉低全国港口的平均度值,但港口平均度值仍从14增加至16,整体网络的港口间联系有所增强。②度值大于20的港口数从12个增至21个,占总港口比重从31.58%提升至44.68%,但地方新兴港口的度值明显偏低。由枢纽港及周边大型港口组成的港口群集装箱运输的规模经济和范围经济效益明显增强,紧邻的港口发挥了明显的疏解作用并逐步大型化和副中心化。③2005-2015年,相较于幂次关系拟合,中国沿海港口网络度累积的指数特征更为明显(图2),表明网络处于随机网络向无标度网络的过渡转化期(陈艳华等, 2017)。需要说明的是,第一,由于沿海集装箱港口样本数量不是很大,许多小港口由于航线不稳定或信息不清晰没有纳入分析范围,导致与 x 轴接近的曲线部分没有拖尾现象。第二,与以往研究相比,我们对不同船公司的相同港口航线进行了识别,加入了航线权重,但由于部分航线频率数据不

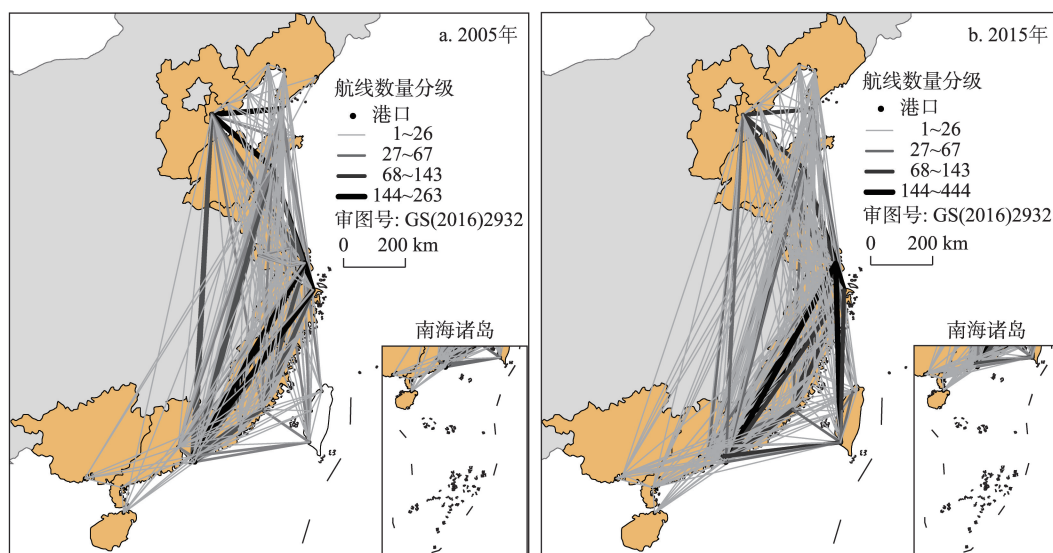


图1 2005和2015年集装箱航运网络分布图

Fig.1 Distribution of the container shipping network, 2005 and 2015

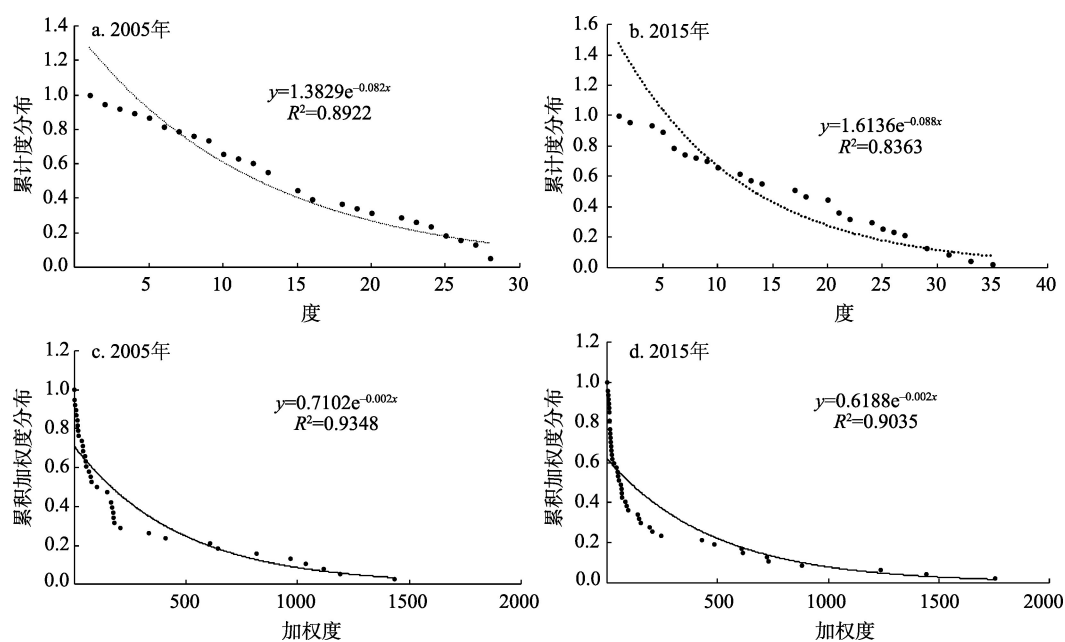


图2 2005和2015年中国沿海港口网络度及加权重累积概率分布图

Fig.2 Weighted degree and cumulative weighted degree probability distribution of port network of coastal area of China, 2005 and 2015

可获取,暂没有考虑航线频率权重,因此,高端值也没有看到上翘现象。第三,由于本文主要探讨加权网络的复杂性,这里增加了加权重累积频率的比较分析,可以看出其无标度特征十分明显。通过分析可判断,传统意义上的港口边缘挑战更多地表现为枢纽港对部分功能的主动剥离,枢纽港的辐射作用和扩散效应显现,但围绕枢纽港的区域港口群则形成了更大范围的空间集聚,呈现大范围的地理集聚

与小范围的功能分散并存的格局,意味着集装箱港口体系在集聚与扩散的转换过程中,通过新型竞合关系实现共赢发展。

3.2 节点中心性分析

3.2.1 港口功能差异缩小,中转功能差异仍较大。

根据加权网络的分析可知,总体上港口节点的航线网络加权中心性位序-规模分布特征增强,航线分布更加均衡化(图3)。2005-2015年节点加权中

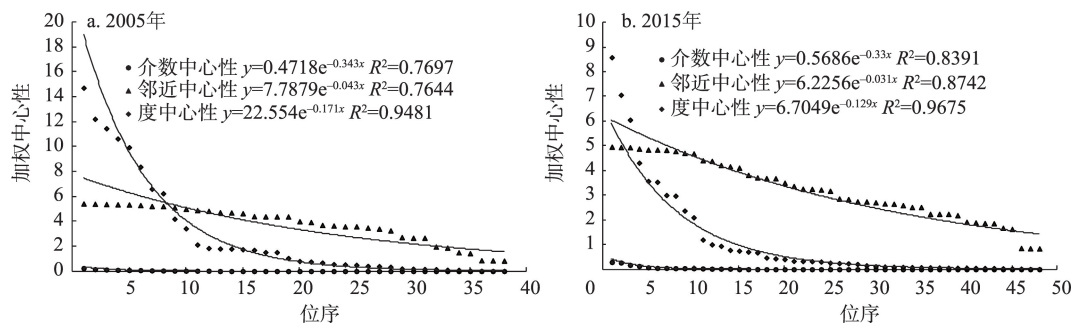


图3 节点加权中心性位序—规模图

Fig.3 Weighted node centrality order-scale graph

心性的变化速率均呈递减趋势,节点中心性的差异在缩小,即各个港口的直接可达性、间接可达性与中转功能的差异在缩小。表现为:①2005-2015年,加权重度中心性的变化率从0.171降至0.129,下降了24.56%;加权邻近中心性从0.043降至0.031,下降了27.91%;加权介数中心性从0.343降至0.33,下降了3.79%。加权重度中心性与加权邻近中心性变化速率大幅度下降,表明10年间在港口数量大幅增加的基础上,中国港口网络中港口直接可达性与间接可达性的功能围绕一个节点或者一组节点运行的集中程度在下降,即各个港口可达性差距在缩小,主要是因为枢纽港边缘的次级港口实力的增强,所联系航线数量快速发展,缩小了与枢纽港的差距。②2005年加权介数中心性的变化速率为加权邻近中心性的7.98倍,为加权重度中心性的2.01倍;至2015年加权介数中心性的变化速率为加权邻近中心性的10.65倍,是加权重度中心性的2.56倍。这表明加权介数中心性在3种中心性中有着较高的变化速率,各个港口的中转功能差异仍较大。

3.2.2 区域性枢纽港较为稳定,整体港口航运网络层级发生改变

2005年沿海港口加权中心性前10位港口排序较2015年前10位有一定的变化。表现为:沿海港口网络中前10位节点中有8个节点相同(表1),这些港口均为各个区域的区域性枢纽港,港口功能强弱略有变化,但保持着相对稳定的位置,均具有较高且较为稳定的直接可达性、间接可达性与中转衔接功能,其中上海港稳居第一。台湾高雄港与各个港口的联系更为紧密,其直接可达性、间接可达性与中转衔接功能均有所提升。

虽然航运网络节点的等级结构明显,但仍需采用科学方法进行具体层级划分,本文基于3类中心性指标,利用SPSS中系统聚类对港口进行分类(表2)。聚类结果表明:2005年第一类节点即全国性枢纽港包括香港、青岛、上海、宁波与深圳,2015年第一类节点包括上海、宁波与深圳;2005年第二类节点包括高雄、大连、天津、厦门与广州,2015年,青岛与香港的地位有所降低,从全国性枢纽港弱化为区

表1 全国港口网络中心性前10位比较

Tab.1 Centrality of top 10 Chinese port networks

排序	2005年			2015年		
	介数中心性	邻近中心性	度中心性	介数中心性	邻近中心性	度中心性
1	上海	上海	上海	上海	上海	上海
2	深圳	深圳	深圳	深圳	深圳	宁波
3	天津	香港	香港	广州	宁波	深圳
4	青岛	青岛	宁波	天津	香港	香港
5	烟台	宁波	青岛	厦门	青岛	厦门
6	广州	天津	天津	香港	高雄	青岛
7	香港	大连	大连	大连	厦门	高雄
8	大连	厦门	厦门	高雄	天津	天津
9	厦门	广州	广州	青岛	大连	大连
10	基隆	高雄	高雄	宁波	广州	广州

表2 中心性系统聚类统计表
Tab.2 System clustering statistics of centrality

类别	2005年		2015年	
	港口	数量	港口	数量
第一类	香港、青岛、上海、宁波、深圳	5	上海、宁波、深圳	3
第二类	高雄、大连、天津、厦门、广州	5	大连、天津、青岛、厦门、广州、香港、高雄	7
第三类	基隆、台中、日照、连云港、南通等	28	台中、台北、福州、烟台、连云港等	37

域性枢纽港,使港口层级发生改变。第三类港口节点数量较多,主要是三类中心性中一类较高其余的较低,或者仅与枢纽港有联系,处于边缘地区。

3.3 沿海集装箱港口“轴—辐”网络联系分析

基于集装箱港口间最强航线联系,结合前文中划分的港口等级结构,利用UCINET生成其网络图(图4)。

分析结论为:①2005年全国集装箱港口间未形成整体网络,呈现局部网络的格局。包括以深圳、香港、广州为核心形成的珠三角港口网络;以天津港、大连港为核心形成的环渤海港口网络;以上海港为核心形成的长三角港口网络。②2015年中国的集装箱网络形成了较为完整的“轴—辐”网络体系。其中以上海港与宁波港之间的航线数量最多,深圳港与上海港之间的航线数量次之,这3个港口间的航线形成了中国的港口航线中强大的干线,且均具有较强的中心性功能,成为全国性枢纽港。2005-2015年上海港作为中国的枢纽港的作用大大增强,同时形成了以青岛港、大连港、厦门港、天津港、广州港、香港港为主的区域性枢纽港,在各地地方港口运输中发挥着重要的组织与转运功能。烟台港、苏州港等港口形成了相应的支线港和喂给港。③枢纽港需要支线港通过支线航班对其进行箱源补充喂给,用于支撑枢纽港间干线航班的运输。同时,支线港的箱源也要通过枢纽港进行疏散。这种

以枢纽港为核心,通过枢纽港和支线港间的航班衔接,集散干支线的集装箱流模式,有利于提高了集装箱网络的覆盖能力和通达性,并可降低运输成本。由此,中国港口之间的关系从单纯的竞争变为新型的竞合关系,彼此分工协作加强,即轴—辐功能协作增强,实现了港口联动发展,使港口区域化的内在性更加明显(图4)。

4 区域集装箱航运网络差异分析

4.1 三大区域差异分析

4.1.1 网络整体特征差异

①平均路径长度。2005-2015年,环渤海、长三角和珠三角的平均路径长度分别从1.2、1.49和1.14增至1.42、1.65和1.51。整体上区域港口间的平均路径长度均低于全国港口的平均路径长度,区域网络联系较全国网络更为便捷,且环渤海地区港口间联系较长三角与珠三角地区更为便捷;②集聚系数。2005-2015年,环渤海、长三角和珠三角的港口群集聚系数分别从0.88、0.85和0.87降至0.72、0.69和0.63。网络集聚系数呈现下降趋势,各区域航运网络中节点间联系的集聚效应降低。2005年各个区域网络集聚系数高于全国网络集聚系数(0.7383),区域内部中节点间联系的集聚效应高于全国。2015年长三角与珠三角港口群的集聚系数

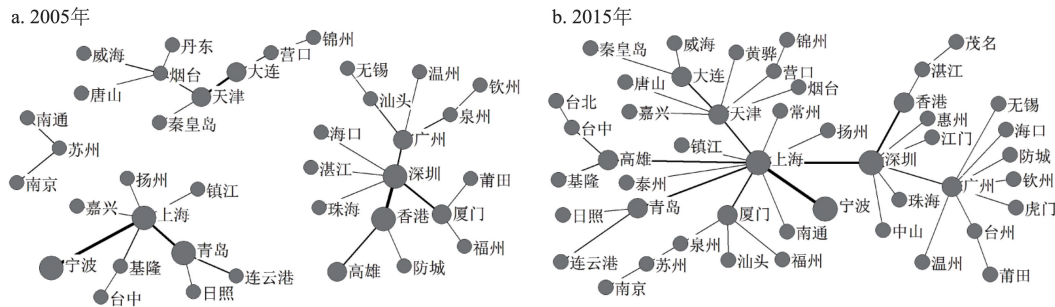


图4 基于最强航线的中国沿海集装箱航运网络“轴—辐”联系
Fig.4 “Hub-spoke” of the container shipping network of China based on the strongest routes between ports

低于全国水平(0.7082),港口内部相对于全国港口间的联系的集聚效应更加均衡。其中,环渤海地区港口群集聚系数高于全国,其内部节点间联系的集聚效应更明显,即环渤海港口航运网络中港口的联系更为紧密。③度。网络的平均度值指的是网络中的每个港口至少与多少个港口相联系。环渤海港口群的节点数从 10 增至 11,平均度从 7.2 降至 6;长三角港口群的节点数从 11 增至 14,平均度从 5.1 降至 5;珠三角港口群节点数从 5 增至 10,平均度由 3.2 升至 4.8。可见,环渤海和长三角新增港口的网络连通能力较弱,而珠三角新增港口的网络连通能力很强。

4.1.2 网络节点可达性与中转衔接功能变化

中国沿海集装箱港口节点加权中心性空间分布不均衡(表 3)。①2005 年,珠三角加权介数中心性约为长三角与环渤海的 1.94 倍与 2.76 倍,珠三角的加权度中心性约为长三角与环渤海的 1.98 倍与 2.1 倍。表明全国港口节点中转与衔接功能和直接可达性呈现由南向北递减的趋势;珠三角邻近中心性明显高于长三角和环渤海地区,表明珠三角地区各港口的网络间接可达性功能最好;2015 年,仅有长三角港口群的加权介数中心性增强,这表明该港口群在全国的中转衔接功能有所上升。其余的加权中心性均有所下降,最为明显的是环渤海、长三角和珠三角的加权度中心性,2015 年分别为 2005 年的 35%,42%和 23%。加权介数中心性与加权度中心性仍旧呈现由南向北递减的格局,其中环渤海的加权邻近中心性在三大港口群中最大,这表明环渤海港口的间接可达性有所上升。

4.1.3 枢纽结构差异、航运网络联系与区域港口群不一致

图 4 通过最强航线联系构建了航运网络,可以

揭示三大区域内部在航运网络联系方面的不同特征。总体看,2005 年,珠三角港口群形成的区域型网络最庞大,环渤海地区的部分港口则被长三角整合,长三角港口群形成了沿海与长江航道两个分区网络。2015 年,基于最强联系的全国性航运网络形成,上海港与深圳港成为全国性枢纽。从区域层面看,在环渤海地区,天津为主枢纽港,青岛、大连为次级枢纽港;在长三角地区,宁波作为上海副中心的地位仍较为明显;在珠三角地区,深圳为主枢纽港,香港港与广州港为次级枢纽港。

(1) 环渤海地区。2005 年,以天津港和大连港为中心,形成了较为独立的区域网络;青岛港与日照港的最强联系均不在本区域,而是与上海港联系最强。2015 年,天津港与上海港建立最强联系,青岛港与上海港的联系也得到加强,带动环渤海地区的主要港口融入了全国网络。在环渤海地区港口群内部,则形成了以天津港、青岛港和大连港为中心的三角枢纽结构。

(2) 长三角地区。总体上形成了以上海港和宁波港为中心的网络结构,其中,宁波港作为枢纽港,仅与上海港建立了最强联系,表明虽然其集装箱航线数量多,规模大,但总体上仍属于上海港的副港,承担了上海港释放的大量货源。另一方面,长三角区域网络在整合部分区外港口的基础上,也有个别本区域港口与外区域枢纽港建立了最强联系。例如,连云港港与青岛港、日照港建立了最强联系,上海港与青岛联系密切,温州港则受广州港吸引。

(3) 珠三角地区。2005 年,与环渤海、长三角相比,珠三角港口群的区域性网络最为庞大,囊括了香港港、东南和西南地区的主要港口,深圳港、香港港和广州港占据枢纽地位。2015 年,深圳港与上海港建立了最强联系,从而拉动珠三角港口群融入了

表 3 区域港口节点加权中心性均值比较
Tab.3 Comparison of the weighted average centrality values of regional port nodes

年份		港口个数	介数中心性	邻近中心性	度中心性
2005	环渤海	11	0.0320	3.9080	2.8082
	长三角	11	0.0225	3.9114	2.9998
	珠三角	5	0.0620	4.2296	5.9336
	台湾地区	3	0.0092	4.4518	1.9114
2015	环渤海	11	0.0144	3.1980	0.9841
	长三角	14	0.0261	3.0574	1.2734
	珠三角	10	0.0358	3.0821	1.3626
	台湾地区	5	0.0104	4.2186	1.3856

全国性网络,基于最强联系的全国性航运网络最终形成。

4.2 香港、台湾地区与三大区域间的网络联系

4.2.1 香港港枢纽功能弱化,地位下降

2015年,香港港与中国沿海港口通航航线数量是2005年的76.36%,其加权重中心性、加权邻近中心性和加权介数中心性均减小,表明香港港在中国沿海集装箱港口网络中的直接可达性,间接可达性与中转衔接功能均有所下降。如图4所示,2005年香港港与深圳港建立最强联系,联系强度为258。2015年,香港港依旧与深圳港建立最强联系,联系强度下降至207。同时,随着上海港、深圳港、宁波港等枢纽港的强势崛起,香港港与大陆沿海港口的整体联系强度下降了22.99%,从全国性枢纽港弱化为珠三角区域枢纽港。与此同时,香港与台湾地区港口的整体联系强度则大幅增长11.9%。

4.2.2 台湾地区港口可达性与中转功能增强,区域化明显

从港口航线的变化来看,经历了两岸直航后,2015年,台湾地区的高雄港、基隆港、台北港的航线数量分别是2005年的1.34倍、1.25倍和4.35倍。整个台湾地区港口与大陆其他区域港口的联系强度上升79.46%,彼此间的网络联系更加紧密。

从与大陆及香港港口联系变化来看,2005年,台湾地区港口与珠三角、长三角及环渤海地区港口航线联系的总强度分别为170、127和107,依次降低。高雄港与国内其余港口联系最紧密,占台湾联系强度的58.6%。2015年,台湾地区与长三角地区联系最为紧密,总强度达到384。如图3所示,2005年,高雄港与香港港存在最强联系,台中港和基隆港与上海港存在最强联系。至2015年,在直航影响下,台湾地区区域化较为明显,形成了以高雄港为区域枢纽港,涵盖台中港、基隆港和台北港的区域

性网络,高雄港与上海港存在最强引力,从而拉动台湾地区港口融入中国沿海港口航运整体网络。

4.2.3 香港、台湾与大陆沿海港口航运网络不断融合,一体化程度不断提升

根据图4与图5对比,2005年,添加香港港与台湾地区航线后,打破了原本的上海—深圳网络体系,形成了以深圳和香港为核心的珠三角网络体系及以上海为核心的长三角网络体系,各区域网络分异明显。2015年,添加香港港与台湾地区航线后,广州港与深圳港的强度增加,使珠三角区域网络更加完善。

4.3 沿海港口航运联系及区域差异变化的内在原因分析

港口航运网络联系及区域差异是经贸联系的集中反映。总体看,沿海港口航运联系的区域差异及变化主要有三方面的原因:①两岸市场开放基础上的经济融合程度对航运网络联系具有重要作用。香港回归与台湾直航背景下,大陆与香港及台湾的经济融合度整体上不断提升,但海峡两岸的经贸关系仍因台湾政局变动及两岸政策变化呈现明显波动。②东亚集装箱航运组织网络发展变化。航运组织具有向更高效率、更低成本的“轴—幅”模式演变的基本态势,随着中国经济和对外贸易的持续快速增长,原有亚太枢纽港地位逐渐被上海、宁波、广州、天津、青岛等替代,中国大陆集装箱枢纽港在航线组织上占据越来越多的主动权。这种航运网络空间组织结构也影响到了全国沿海港口联系。以上海港为例,其最强联系由宁波港变为深圳港,能够最大程度的发挥枢纽港集聚与疏散货物的能力。③2008年金融危机以来,不同区域经济转型、贸易结构和产业联系的变化。中国集装箱航运网络是贸易网络的外在表现,区域经济的转型,产业结构的升级与贸易结构的变化,影响着港口之间

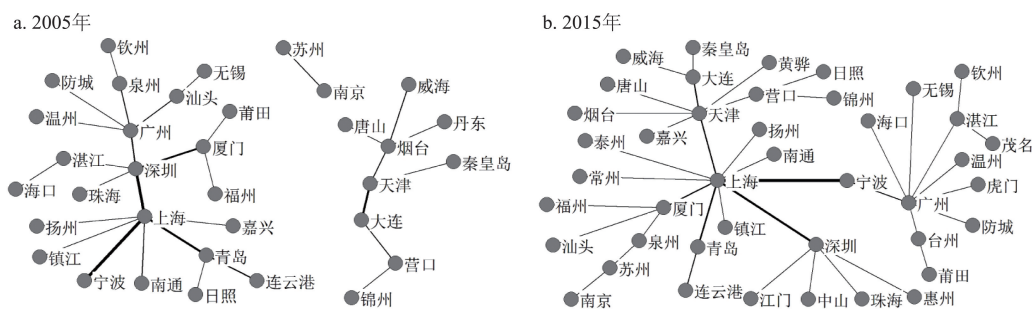


图5 基于港口间最强航线大陆集装箱航运网络“轴—幅”图

Fig.5 "Hub-spoke" of the Chinese mainland container shipping network based on the strongest routes between ports

的航运联系。

从香港与大陆港口航运联系来看,1997年香港回归以来,其经济快速发展,产业结构不断升级,将劳动密集型的制造业逐渐转移至珠三角,与大陆的经济融合度升高,使其成为大陆地区向外输出的主要运输港口。香港港集装箱航运在中国航运网络中始终处于领军地位。随着改革开放深入化发展,保税港区政策与启运港退税政策在大陆港口开始实施,香港港税收优势弱化,大陆需要香港港提供运输的机会变少。在大陆腹地经济增长支撑下,特别是大陆自由贸易区发展释放了更多经济活力,深圳、广州等香港周边的港口获得持续增长,香港港口航运业更加专注于高端业务发展,因此,虽然表面看香港与大陆间的航线联系减少了,但其与深圳、广州等港口间的产业联系、航运职能分工更紧密了。

从台湾与大陆港口航运联系来看,2005年,两岸的航运模式为间接集装箱班轮运输,主要特点为“货通但船不直接通”,参航船舶必须绕道香港、日本石垣等港转关换单后才能进入台湾(王列辉,2016)。这期间航运主要通过香港转运,台湾地区与珠三角地区港口建立了最强联系。2008年,两岸直航通航政策实施,主要特点为“货通船通”,两岸直航。至2015年,台湾地区港口与大陆港口的空间联系与航线布局进一步扩大和强化,与上海港联系强度大幅度增强,台湾地区与长三角建立紧密联系。同时受到大陆巨大市场的吸引,台商在大陆投资增多,加快了台湾地区产业转移,两岸的经济融合度不断提升,航运需求量增多。台湾地区港口在中国航运网络中的地位上升,同时与大陆港口间的联系大幅度增多。

5 结论与讨论

本文利用网络复杂性模型,从网络联系方面探讨了中国集装箱港口网络的最新特点。主要得到以下3点结论:

(1) 从2005年到2015年,对于沿海港口集装箱航运网络而言,全国性网络与区域性网络均具有较小的平均路径长度与较大的集聚系数,均服从小世界模型。全国性网络节点的加权中心性呈现位序—规模指数递减,各个港口的直接可达性、间接可达性与中转功能的差异减小。同时在航运网络“轴

一幅”模式下,航运干线主要集中于几个较少数的枢纽港,枢纽港呈现全国性枢纽、次级枢纽和区域性枢纽三层次。

(2) 2005-2015年,基于UCINET所呈现的最强联系航运网络中,从全国层面来看,集装箱港口航运网络由三大区域与一个港口群组的格局演化为较一体化的全国性网络体系。全国集装箱港口航运网络轴—辐结构形成,港口间由单纯竞争关系转化为竞合关系,沿海港口集装箱航运网络具有更强的整体性和协同性,网络的整体竞争力明显提升,有助于中国港口在世界航运网络、海上丝绸之路网络中的转型发展。从区域角度来看,虽然区域性网络与港口群并非一一对应,少数港口最强联系非本区域枢纽港,但四大区域性网络和枢纽港结构仍保持相对稳定。环渤海集装箱港口整体形成了以天津港与青岛港为主的双核枢纽港区域航运网络;长三角集装箱港口整体形成了以上海港为主枢纽港,宁波港为次枢纽港的区域航运网络;珠三角区域形成了以深圳港—香港港主枢纽港,广州港为次枢纽港的区域航运网络;台湾地区区域化特征明显,形成了以高雄港为区域性枢纽的较为完整的区域航运网络。

(3) 在两岸直接通航政策下,台湾地区港口与中国其余港口的空间联系与航线布局进一步扩大和强化,促进重要港口的集中化发展与辐射带动作用,航运网络区域化明显。台湾地区港口与三大区域港口的联系强度均增强,在中国沿海港口中的地位显著上升。随着改革开放的深入,保税港区政策与启运港退税政策成熟化,大陆需要香港港提供运输的机会变少,香港港从全国性枢纽港弱化为珠三角区域性枢纽港。

一般的复杂网络分析为无权网络,忽略节点间联系强度,未体现节点间实际情况。本文以不同班轮公司在港口节点间的航线联系为权重,建立港口加权网络并对其进行分析,这也是首次对中国整体区域集装箱港口进行的加权网络分析,仍有许多细节之处需要深入探讨。此外,由于具体班轮的频率与密度无法用同一标准去衡量,尚未进行更加详细的强度数据搜集,这将在以后的研究中逐步完善。

参考文献(References)

曹有挥. 1999. 集装箱港口体系的演化模式研究: 长江下游集装箱港口体系的实证[J]. 地理科学, 19(6): 485-490.

- [Cao Y H. 1999. On the evolution model of the container port system: A case study of the lower Changjiang River container port system[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 19(6): 485-490.]
- 曹有挥, 李海建, 陈雯. 2004. 中国集装箱港口体系的空间结构与竞争格局[J]. *地理学报*, 59(6): 1020-1027. [Cao Y H, Li H J, Chen W. 2004. The spatial structure and the competition pattern of the container port system of China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 59(6): 1020-1027.]
- 陈艳华, 韦素琼, 陈松林. 2017. 大陆台资跨界生产网络的空间组织模式及其复杂性研究: 基于大陆台商千大企业数据[J]. *地理科学*, 37(10): 1517-1526. [Chen Y H, Wei S Q, Chen S L. 2017. The spatial organization pattern and its complexity characteristics of cross-border production networks of Taiwan-funded enterprises in mainland China: Based on top 1000 Taiwan-funded enterprises in mainland China[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 37(10): 1517-1526.]
- 范斐, 刘承良, 游小珺, 等. 2015. 全球港口间集装箱运输贸易网络的时空分异[J]. *经济地理*, 35(6): 109-115. [Fan F, Liu C L, You X J, et al. 2015. The spatial-temporal differentiation and of global trade of container transportation network between ports[J]. *Economic Geography*, 35(6): 109-115.]
- 韩增林, 安筱鹏. 2001. 东北集装箱运输网络的建设与优化探讨[J]. *地理科学*, 21(4): 308-314. [Han Z L, An X P. 2001. Research on the construction and optimization of container transportation network in Northeast China[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 21(4): 308-314.]
- 焦敬娟, 王姣娥. 2014. 海航航空网络空间复杂性及演化研究[J]. *地理研究*, 33(5): 926-936. [Jiao J J, Wang J E. 2014. Spatial structure and evolution of Hainan Airlines network: An analysis of complex network[J]. *Geographical Research*, 33(5): 926-936.]
- 莫辉辉, 王姣娥. 2012. 复杂交通网络[M]. 经济管理出版社. [Mo H H, Wang J E. 2012. *Complex transport network* [M]. Beijing, China: Economic Management Press.]
- 莫辉辉, 王姣娥, 金凤君. 2008. 交通运输网络的复杂性研究[J]. *地理科学进展*, 27(6): 112-120. [Mo H H, Wang J E, Jin F J. 2008. Complexity perspectives on transportation network[J]. *Progress in Geography*, 27(6): 112-120.]
- 潘竞虎, 戴维丽. 2017. 基于网络分析的城市影响区和城市群空间范围识别[J]. *地理科学进展*, 36(6): 667-676. [Pan J H, Dai W L. 2017. Identification of urban hinterlands and urban agglomerations in China based on network analysis[J]. *Progress in Geography*, 36(6): 667-676.]
- 任义科, 宋连成, 余瑞芳, 等. 2017. 属性和网络结构双重视角下农民工流动规律研究[J]. *地理科学进展*, 36(8): 940-951. [Ren Y K, Song L C, She R F, et al. 2017. Migrant workers' migration patterns from the dual perspectives of attributes and network structures[J]. *Progress in Geography*, 36(8): 940-951.]
- 王成金, 金凤君. 2006. 中国海上集装箱运输的组织网络研究[J]. *地理科学*, 26(4): 392-401. [Wang C J, Jin F J. 2006. Organization networks of Chinese marine container transportation[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 26(4): 392-401.]
- 王列辉, 洪彦. 2016. 直航背景下海峡两岸集装箱港口体系空间结构: 基于复杂网络的视角[J]. *地理学报*, 71(4): 605-620. [Wang L H, Hong Y. 2016. Spatial structure of container port systems across the Taiwan straits under the direct shipping policy: A complex network system approach[J]. *Acta Geographica Sinica*, 71(4): 605-620.]
- 谢燮. 2010. 我国港口空间格局演化的成因及趋势分析[J]. *中国水运*, (2): 8-9. [Xie X. 2010. The causes and trend of evolution of the spatial pattern of Chinese ports[J]. *China Water Transport*, (2): 8-9.]
- 杨静蕾, 罗梅丰, 吴晓璠. 2012. 美国集装箱港口体系演进过程研究[J]. *经济地理*, 32(2): 94-100. [Yang J L, Luo M F, Wu X P. 2012. Research on the evolution process of U.S. container port system[J]. *Economic Geography*, 32(2): 94-100.]
- 张兰霞, 秦勇, 王莉. 2016. 高速铁路加权复杂网络特性分析[J]. *铁道科学与工程学报*, 13(2): 201-209. [Zhang L X, Qin Y, Wang L. 2016. Statistical analysis of weighted complex network in Chinese high-speed railway[J]. *Journal of Railway Science and Engineering*, 13(2): 201-209.]
- Barke M. 1986. *Transport and trade: Conceptual frameworks in geography*[M]. Edinburgh, UK: Oliver and Boyd.
- Deng W B, Long G, Wei L, Xu C. 2009. Worldwide marine transportation network: Efficiency and container throughput[J]. *Chinese Physics Letters*, 26(11): 118-901.
- Ducruet C, Notteboom T. 2012. The Worldwide maritime network of container shipping: Spatial structure and regional dynamics[J]. *Global Network*, 12(3): 395-423.
- Frémont A, Soppé M. 2007. Northern European range: Shipping line concentration and port hierarchy//Wang J, Olivier D, Notteboom T, et al. *Ports, cities and global supplychains*. Aldershot, England: Ashgate: 105-120.
- Guo J, Wang S, Wang D, et al. 2017. Spatial structural pattern and vulnerability of China-Japan-Korea shipping network[J]. *Chinese Geographical Science*, 27(5): 697-708.
- Hayuth Y. 1981. Containerization and the load center concept[J]. *Economic Geography*, 57: 160-176.
- Hayuth Y. 1988. Rationalization and concentration of the U.S. container port system[J]. *Professional Geographer*, 40(3): 279-288.
- Kaluza P, Kölzsch A, Gastner M T, Blasius B. 2010. The complex network of global cargo ship movements[J]. *Journal*

- of the Royal Society Interface, 7(48): 1093-1103.
- Le Y, Ieda H. 2009. Evolution dynamics of container port systems with a Geo-Economic concentration index: A comparison of Japan, China and Korea[J]. Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, (1): 46-61.
- Lee S W, Song D W, Ducruet C. 2008. A tale of Asia's world ports: the spatial evolution in global hub port cities[J]. Geoforum, 39(1): 372-395.
- Mayer H M. 1978. Current trends in Great Lakes shipping[J]. Geojournal, 2(2): 117-122.
- Monios J, Wilmsmeier G. 2013. The role of intermodal transport in port regionalisation[J]. Transport Policy, 30: 161-172.
- Monios J, Wilmsmeier G. 2016. Between path dependency and contingency: New challenges for the geography of port system evolution[J]. Journal of Transport Geography, 51: 247-251.
- Notteboom T E. 1997. Concentration and load centre development in the European container port system[J]. Journal of Transport Geography, 5(2): 99-115.
- Notteboom T E, Rodrigue J-P. 2005. Port regionalization: Towards a new phase in port development[J]. Maritime Policy and Management, 32(3): 297-313.
- Rimmer P J. 1967. The search for spatial regularities in the development of Australian seaports 1861-1961/2[J]. Geografiska Annaler, 49: 42-54.
- Taaffe E J, Morrill R L, Gould P R. 1963. Transport expansion in underdeveloped countries: A comparative analysis[J]. Geographical Review, 53(4): 503-529.
- Van Klink H A. 1998. The port network as a new stage in port development: The case of Rotterdam[J]. Environment and Planning A, 30 (1): 143-160.
- Wang C, Ducruet C. 2012. New port development and global city making: Emergence of the Shanghai-Yangshan multi-layered gateway hub[J]. Journal of Transport Geography, 25: 58-69.

Spatial connection and regional difference of the coastal container port shipping network of China

GUO Jianke, HE Yao, HOU Yajie

(Center of Ocean Economy and Sustainable Development, Liaoning Normal University, Dalian 116029, Liaoning, China)

Abstract: Coastal ports are the intersections between the Belt and Road sea and land routes and the shipping network is the carrier for the ports' integration into the Maritime Silk Road, therefore their spatial connection and integration level are important indicators of the overall competitiveness of the ports. Using a complex network model to quantitatively depict and analyze the shipping network connection in 2005 and 2015, this article discusses the spatial and regional differences of container ports of China in the past 10 years. The results show that: (1) The container port shipping network of China had a bigger clustering coefficient and a smaller average path length and the whole network follows the small-world model. Differences between network accessibility and transfer function of the ports are relatively smaller, and regional hub ports are more stable. (2) Based on the strongest connection of shipping network from social network analysis (UCINET), from a national perspective three relatively independent regional networks have evolved into an integrative hub-spoke spatial network. From a regional perspective, although a few ports have the strongest connection with non-local hub ports, four regional ports still form relatively complete networks. (3) From the perspective of regional differences, the vertex strength of the connections among the four regional ports has increased, the network accessibility and transfer function of ports in Taiwan have improved, and their strongest connection area changed from the Pearl River Delta to the Yangtze River Delta. It also forms a regional network with Kaohsiung Port as a regional hub. The vertex strength between all ports in Taiwan and ports in China's mainland has increased by 79.46%. The vertex strength between the Hong Kong Port and all ports in China's mainland has decreased by 22.99%. The Hong Kong Port has declined from the national hub port to the Pearl River Delta regional hub port.

Key words: coastal container ports of China; complex network; hub-spoke; weighted network; regional difference